
Gens, Wolfgang :

***Einführende Betrachtung zur Geschwindigkeitsregelung
elektrischer Triebfahrzeuge***

Zuerst erschienen in:

Deutsche Eisenbahntechnik : techn.-wiss. Zeitschr. für Bau, Betrieb
u. Unterhaltung schienengebundener Verkehrseinrichtungen /
Kammer der Technik, Fachverband Fahrzeugbau und Verkehr. -
Berlin : Verlag Technik, ISSN 0012-0057, 18. Jg. (1970), H. 5, S. 240
- 243

Einführende Betrachtung zur Geschwindigkeitsregelung elektrischer Triebfahrzeuge

Einleitung

Für alle Industrieländer trifft in gleichem Maße die Erkenntnis zu, daß der Verkehr in industriellen und Siedlungsballungsgebieten künftig nur noch durch leistungsfähige, vorerst elektrisch angetriebene Stadt- und Vorort Schnellbahnen bewältigt werden kann. Auf Grund der hohen Reisegeschwindigkeiten bei den relativ kurzen Haltestellenabständen müssen die Züge ein beachtliches Beschleunigungs- und Verzögerungsvermögen besitzen. Es werden maximale Anfahrbeschleunigungen bis $1,2 \text{ ms}^{-2}$ und Bremsverzögerungen bis etwa 1 ms^{-2} gefordert. Diese Forderungen lassen sich mit allachsig angetriebenen Triebwageneinheiten erfüllen. Hier kann eine wesentlich höhere Zugkraft und damit Beschleunigung als bei lokomotivbespannten Zügen realisiert werden, ohne ein Schleudern oder Gleiten der Triebräder befürchten zu müssen. Im Hinblick auf die großen Verzögerungswerte und die Bremshäufigkeit ergeben sich günstige Verhältnisse, wenn unter Einbeziehung der Fahrmotoren eine elektrische Bremsung vorgesehen wird.

Die hohe Reisegeschwindigkeit verlangt vom Fahrzeugführer eine erhebliche Konzentration für die sichere Führung des Fahrzeugs. Daraus resultiert für den Hersteller des Triebfahrzeugs die Aufgabe, nach Wegen zu suchen, die eine vereinfachte Bedienung des Fahrzeugs zum Ziele haben. Ein modernes Hilfsmittel zur Lösung dieser Aufgabe bietet sich dem Ingenieur in Form der Regelungstechnik. Entsprechend den regelungstechnischen Erkenntnissen kann man eine Triebwageneinheit oder einen Triebzug als Geschwindigkeitsregelkreis konzipieren, der gleichzeitig die Begrenzung wichtiger Größen (Beschleunigung oder Verzögerung, Fahrmotorstrom, Fahrmotorspannung, primäre Leistungsaufnahme) gewährleistet. Ohne Schwierigkeiten läßt sich der geregelte Betrieb beim Übergang von einer Geschwindigkeit auf eine andere einschließlich Anfahrt und Bremsung mit der energiesparenden Fahrweise des freien Auslaufs kombinieren. Bei derartig konzipierten Fahrzeugen hat der Fahr-

zeugführer bei der Geschwindigkeitssteuerung nur noch die Aufgabe, die gewünschte Geschwindigkeit und die zulässige Beschleunigung oder Verzögerung vorzuwählen und danach den Vorgang einzuleiten. Beim künftig zu erwartenden vollautomatischen Betrieb werden auch diese Funktionen des Fahrzeugführers noch von einer außerhalb oder auf dem Fahrzeug befindlichen rechnergesteuerten Automatik übernommen.

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, die Leser der „Deutschen Eisenbahntechnik“, die bisher noch keine Berührung mit der Regelungstechnik hatten, mit einigen Gesichtspunkten bekannt zu machen, die beim Ermitteln einiger bestimmender Parameter der Geschwindigkeitsregelung eines Triebwagens oder Triebzugs zu beachten sind.

1. Das Verhalten des geschwindigkeitsgeregelten Fahrzeugs bei Führung und Störung

Das Verhalten des Fahrzeugs bei Führung ist von Interesse bei gewollten Geschwindigkeitsänderungen, z. B. bei der Anfahrt oder Bremsung. Das Verhalten bei Störung interessiert, wenn das Fahrzeug eine Steigung oder ein Gefälle befährt, d. h., wenn der Einfluß des Streckenwiderstands auf die Fahrgeschwindigkeit zu untersuchen ist. Unter der vereinfachenden Voraussetzung, daß im Geschwindigkeitsregelkreis die vorhandenen Nichtlinearitäten einen vernachlässigbaren Einfluß ausüben und die mechanische Trägheit wesentlich größer als die elektromagnetischen und die anderen Trägheiten der Ausrüstung ist, stellt die Regelstrecke des Geschwindigkeitsregelkreises in guter Näherung ein integrales Glied dar. Dessen Integrationszeitkonstante kann durch die Einstellung der Verstärkung des vorgeschalteten Regelverstärkers im gewünschten Maße verändert werden. Für den das gesamte Fahrzeug umfassenden Geschwindigkeitsregelkreis gilt unter Berücksichtigung der

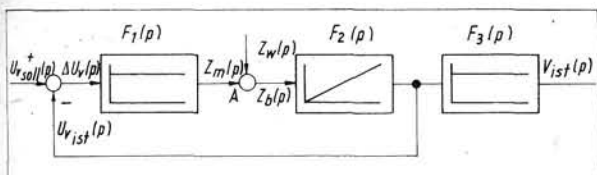


Bild 1. U_{vsoll} Geschwindigkeitsollwert (analoger Gleichspannungswert), U_{vist} Geschwindigkeitsistwert (analoger Gleichspannungswert), ΔU_v Geschwindigkeitsregelabweichung (analoger Gleichspannungswert), Z_m vom Motor aufgebrachte Zug- oder Bremskraft, Z_w Widerstandskraft, Z_b Beschleunigungskraft, v_{ist} Istgeschwindigkeit, $F_1(p)$ Übertragungsfunktion (ÜTF) des Regelverstärkers, $F_2(p)$ ÜTF als Funktion des Laplace-Operators p , $F_3(p)$ ÜTF der Regelstrecke, $F_3(p)$ ÜTF des Gliedes zur Umformung von U_{vist} in V_{ist}

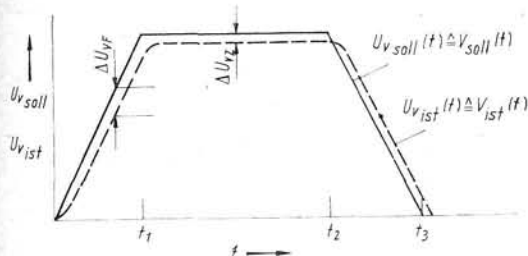


Bild 2

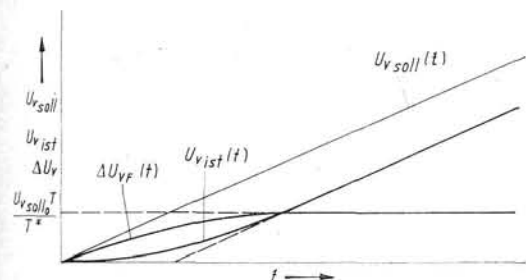


Bild 3

getroffenen Voraussetzungen das im Bild 1 angegebene Signallaufbild.

Den Betrachtungen soll ein idealisiertes Fahrprogramm entsprechend Bild 2 zugrunde gelegt werden.

Im Bild 2 ist t_1 die Zeit für die Anfahrt mit konstanter Beschleunigung, $t_2 - t_1$ die Zeit für die Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit und $t_3 - t_2$ die Zeit für die Bremsung mit konstanter Verzögerung.

Die Auslegung der Geschwindigkeitsregelung muß so erfolgen, daß der sich einstellende Geschwindigkeitsistwert $U_{vist}(t)$ in allen drei Zeitabschnitten möglichst weitgehend mit $U_{vsoll}(t)$ übereinstimmt. Bei der Fahrt auf einer ebenen oder ansteigenden Strecke hat der Geschwindigkeitsistwert $U_{vist}(t)$ qualitativ den im Bild 2 gestrichelt eingetragenen Verlauf. Es soll nunmehr gezeigt werden, wie unter Berücksichtigung der eingangs genannten Voraussetzungen die maximale Geschwindigkeitsregelabweichung $\Delta U_v(t)$ und damit die Geschwindigkeitsabweichung $\Delta v(t)$ vom eingestellten Sollwert während der Beschleunigungs- oder Verzögerungsperiode sowie während der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit bestimmt werden kann. Bei Vernachlässigung des Einflusses der Nichtlinearitäten ist es möglich, die bei Führung $Z_w(p) = 0$ und Störung $U_{vsoll}(p) = 0$ auftretenden Geschwindigkeitsregelabweichungen getrennt zu berechnen und dann vorzeichenbehaftet zu addieren.

1.1. Das Verhalten des Geschwindigkeitsregelkreises bei Führung $Z_w(p) = 0$

Aus Bild 1 folgt für den offenen Regelkreis:

$$F_{ov}(p) = \frac{\Delta U_v(p)}{U_{vist}(p)} = F_1(p) \cdot F_2(p) \quad (1)$$

mit

$$F_1(p) = k_1 \quad (2)$$

$$F_2(p) = \frac{k_2}{p T_2} \quad (3)$$

$$F_1(p) \cdot F_2(p) = \frac{k_1 k_2}{p T_2} = \frac{1}{p T} \quad (4)$$

Für den geschlossenen Regelkreis gilt:

$$F_v(p) = \frac{U_{vist}(p)}{U_{vsoll}(p)} = \frac{F_{ov}(p)}{1 + F_{ov}(p)} = \frac{1}{1 + p T} \quad (5)$$

Für den linear von der Zeit t abhängigen Geschwindigkeitsollwert kann man ansetzen:

$$U_{vsoll}(t) = \frac{U_{vsoll_0}}{T^*} t \quad (6)$$

wobei $U_{vsoll_0} \frac{1}{T^*}$ der Beschleunigung oder der auf $T^* = 1$ s

bezogenen Geschwindigkeitsänderung proportional ist. Zum Berechnen der Zeitfunktion des Geschwindigkeitsistwerts benutzen wir die Laplace-Transformation. Für den in den Unterbereich der Laplace-Transformation transformierten Geschwindigkeitsollwert $U_{vsoll}(t)$ gilt:

$$U_{vsoll}(p) = \frac{U_{vsoll_0}}{T^*} \frac{1}{p^2} \quad (7)$$

Gl. (7) in Gl. (5) eingesetzt ergibt:

$$U_{vist}(p) = \frac{U_{vsoll_0}}{T^*} \frac{1}{p^2} \frac{1}{1 + p T} \quad (8)$$

Die Rücktransformation von Gl. (8) in den Zeitbereich ergibt:

$$U_{vist}(t) = \frac{U_{vsoll_0}}{T^*} \left[t - T \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right] \quad (9)$$

Die Regelabweichung folgt aus der Gl.

$$\Delta U_{vF}(t) = U_{vsoll}(t) - U_{vist}(t) \quad (10)$$

(ΔU_{vF} Geschwindigkeitsregelabweichung bei Führung)

Die Funktionen entsprechend Gln. (6), (9) und (10) sind im Bild 3 dargestellt.

Aus Gl. (10) folgt die maximale Geschwindigkeitsregelabweichung für $t \rightarrow \infty$. Sie lautet:

$$\Delta U_{vF_{max}} = \frac{U_{vsoll_0}}{T^*} T \quad (11a)$$

Sie stellt sich praktisch für $t \approx 4 T$ ein. Beim Bremsen erhält man auf analoge Weise

$$\Delta U_{vF_{max}} = - \frac{U_{vsoll_0}}{T^*} T \quad (11b)$$

Den Gln. (11a) und (11b) ist zu entnehmen, daß die Regelabweichung $\Delta U_{vF_{\max}}$ der Zeitkonstanten T des Regelkreises und der vorgegebenen Beschleunigung oder Verzögerung direkt proportional ist.

Enthält der offene Geschwindigkeitsregelkreis neben dem integralen Glied mit der Zeitkonstanten T ein Verzögerungsglied mit der Zeitkonstanten T_v , so nähert sich der Geschwindigkeitswert weiterhin aperiodisch seinem stationären Wert, wenn $4 T_v \leq T$ ist. Wird $4 T_v > T$, so treten gedämpfte Schwingungen des Geschwindigkeitswertes um seinen stationären Wert auf. Dieser Fall muß durch eine entsprechende Einstellung der Verstärkung des Regelverstärkers vermieden werden, wobei diese Maßnahme in jedem Falle auf die Größe der Regelabweichung zurückwirkt.

1.2. Das Verhalten des Geschwindigkeitsregelkreises bei Störung

$$U_{vsoll}(p) = 0$$

Zum Berechnen der Geschwindigkeitsregelabweichung bei Störung ΔU_{vZ} muß die Störübertragungsfunktion

$$F_Z(p) = \frac{U_{vist}(p)}{Z_w(p)} \quad (12)$$

abgeleitet werden. Hierbei geht man vom Gleichgewicht der Zugkräfte am Summationspunkt A im Bild 1 aus. Für die Fahrt auf einer Steigung gilt:

$$Z_m(p) - Z_w(p) = Z_b(p) \quad (13)$$

Wegen $U_{vsoll}(p) = 0$, d. h., es tritt keine Sollwertänderung auf, gilt weiterhin:

$$U_{vist}(p) = -\Delta U_{vZ}(p) \quad (14)$$

Aus den Gln. (13) und (14) sowie den Übertragungsfunktionen $F_1(p)$ und $F_2(p)$ — Gln. (2) und (3) — erhält man:

$$\frac{U_{vist}(p)}{Z_w(p)} = -\frac{1}{k_1} \frac{1}{1 + p \frac{T_1}{k_1}} \quad (15)$$

Tritt eine konstante Widerstandszugkraft Z_{wo} auf, so folgt nach Abklingen des Ausgleichsvorgangs für $t \rightarrow \infty$, d. h., $p \rightarrow 0$ für den Geschwindigkeitswert.

$$U_{vist}(\infty) = -\frac{1}{k_1} Z_{wo} = \Delta U_{vZ}(\infty) \quad (16)$$

Das negative Vorzeichen in den Gln. (15) und (16) deutet darauf hin, daß im angenommenen Belastungsfall der Geschwindigkeitswert kleiner als der stationäre Geschwindigkeitswert ist.

Wie aus Gl. (16) hervorgeht, ist die Geschwindigkeitsregelabweichung umgekehrt proportional dem Übertragungsfaktor k_1 , d. h., sie wird um so kleiner, je mehr Zugkraft der Fahrantrieb bei einer auftretenden Geschwindigkeitsregelabweichung aufzubauen in der Lage ist. Sie ist weiterhin proportional der Widerstandskraft Z_{wo} . Kehrt sich das Vorzeichen von Z_{wo} um (Fahrt im Gefälle), so kehrt auch die Regelabweichung ΔU_{vZ} ihr Vorzeichen um.

2. Berechnung einiger bestimmender Parameter eines Geschwindigkeitsregelkreises für ein Triebfahrzeug an Hand eines Beispiels

2.1. Vorgegebene Daten des Fahrzeugs

Masse des vollbesetzten Fahrzeugs $G = 125 \cdot 10^3$ kp

Masse des vollbesetzten Fahrzeugs $m = 12,75 \cdot 10^{+3}$ kpm⁻¹s²

Streckenwiderstand bei $+25^\circ/_{00}$ $Z_{w1} = 3200$ kp

Streckenwiderstand $Z_{w2} = 550$ kp

Geschwindigkeitswert(max.) $U_{vist} = 10$ V

(bei $v_{ist} = 120$ kmh⁻¹ = 33 ms⁻¹)

Anfahrbeschleunigung $b = 1,2$ ms⁻²

Zunahme des Geschwindigkeitswertes je Sekunde entsprechend $b = 1,2$ ms⁻²

$U_{vsoll_0} = 0,36$ V

2.2. Einzuhaltende Regelabweichungen

Geschwindigkeitsregelabweichung bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit auf einer Steigung von $25^\circ/_{00}$

$\Delta U_{vZ} = 0,167$ V $\cong 2$ kmh⁻¹ oder $0,56$ ms⁻¹

Geschwindigkeitsregelabweichung bei Anfahrt mit konstanter Beschleunigung $b = 1,2$ ms⁻² auf ohne Fahrwiderstand angenommener Strecke

$\Delta U_{vF} = 0,416$ V $\cong 5$ kmh⁻¹ oder $1,39$ ms⁻¹

2.3. Berechnung der Parameter des Geschwindigkeitsregelkreises

Aus Bild 1 geht hervor, daß im Regelkreis lediglich die Übertragungsfunktion $F_1(p)$ — durch entsprechende Wahl des Verstärkungsfaktors k_1 (Gl. 2) — zum Erfüllen der gestellten Forderungen herangezogen werden kann. Die Übertragungsfunktion $F_2(p)$ (Gl. 3) ist durch die von der Masse des Fahrzeugs bestimmte n Zeitkonstante $n T_2$ und den Übertragungsfaktor Geschwindigkeit \rightarrow Geschwindigkeitswert k_2 fest vorgegeben. $F_2(p)$ läßt sich wie folgt bestimmen:

$$Z_b(t) = m \frac{dv}{dt}, \quad v(t) = k_3 U_{vist}(t)$$

$$Z_b(p) = mpv(p), \quad v(p) = k_3 U_{vist}(p)$$

$$Z_b(p) = m k_3 p U_{vist}(p)$$

Daraus folgt in Übereinstimmung mit Gl. (3) die Übertragungsfunktion $F_2(p)$ zu:

$$F_2(p) = \frac{U_{vist}(p)}{Z_b(p)} = \frac{1}{p m k_3} = \frac{k_2}{p T_2}$$

Im vorliegenden Fall gilt:

$$F_2(p) = \frac{1}{p 12,75 \cdot 10^3 \text{ kpm}^{-1}\text{s}^2 \cdot 3,33 \text{ ms}^{-1} \text{ V}^{-1}}$$

$$F_2(p) = \frac{1 \text{ Vkp}^{-1}}{p 42,5 \cdot 10^3 \text{ s}} \quad (17)$$

2.3.1. Die Geschwindigkeitsregelabweichung bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit

Es war für diesen Fall vorgegeben:

$\Delta v_Z = 2$ kmh⁻¹ oder $\Delta U_{vZ} = 0,167$ V.

Damit folgt entsprechend Gl. (16) für den Übertragungsfaktor k_1 :

$$k_1 = \frac{Z_{wo}}{U_{vZ}} = \frac{3750 \text{ kp}}{0,167 \text{ V}} = 22,4 \cdot 10^3 \text{ kp V}^{-1}$$

Mit Hilfe von Gln. (4) und (17) erhält man:

$$F_1(p) \cdot F_2(p) = \frac{1}{p T} = \frac{1 \frac{\text{V}}{\text{kp}} \cdot 22,4 \cdot 10^3 \frac{\text{kp}}{\text{V}}}{p 42,5 \cdot 10^3 \text{ s}}$$

$$F_1(p) \cdot F_2(p) = \frac{1}{p 1,9 \text{ s}}$$

Das Ergebnis besagt, daß $T \leq 1,9 \text{ s}$ oder $k_1 \geq 22,4 \cdot 10^3 \text{ kp V}^{-1}$ realisiert werden muß, damit unter den angenommenen Bedingungen $\Delta v_Z \leq 2 \text{ kmh}^{-1}$ bleibt.

2.3.2. Die Geschwindigkeitsregelabweichung bei Anfahrt mit konstanter Beschleunigung

Für diesen Fall war vorgegeben:

$$\Delta v_F = 5 \text{ kmh}^{-1} \text{ oder } \Delta U_{vF} = 0,416 \text{ V}$$

Damit folgt entsprechend Gl. (11a) unmittelbar T zu:

$$T = \frac{U_{vsoll_0}}{T^* \Delta U_{vF}} = \frac{0,36 \text{ V}}{1 \text{ s} \cdot 0,416 \text{ V}}$$

$$T = 0,865 \text{ s}$$

Das Ergebnis besagt, daß $T \leq 0,865 \text{ s}$ realisiert werden muß, damit unter den angenommenen Bedingungen $\Delta v_F \leq 5 \text{ kmh}^{-1}$ bleibt.

2.3.3. Vergleich der Ergebnisse

Der Vergleich der in den Abschn. 2.3.1. und 2.3.2. erhaltenen Ergebnisse zeigt, daß die Einhaltung von $\Delta v_F = 5 \text{ kmh}^{-1}$ bei der Anfahrt mit $b = 1,2 \text{ ms}^{-2}$ die schärfere Bedingung darstellt. Wird der Regelkreis mit $T = 0,865 \text{ s}$ realisiert, so wird bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit auf einer Steigung von 25‰ die Geschwindigkeitsregelabweichung einen kleineren Wert annehmen.

Dann gilt:

$$\begin{aligned} \Delta U_{vZ} &= \frac{Z_{wo}}{k_1} = Z_{wo} \cdot \frac{T k_2}{T_2} \\ &= 3750 \text{ kp} \cdot 0,865 \text{ s} \cdot \frac{\text{V}}{\text{kp}} \\ \Delta U_{vZ} &= 42,5 \cdot 10^3 \text{ s} \\ \Delta U_{vZ} &= 0,0765 \text{ V} \\ \Delta v_Z &= 0,92 \text{ kmh}^{-1} \end{aligned}$$

Die maximale Geschwindigkeitsregelabweichung bei einer Anfahrt mit $b = 1,2 \text{ ms}^{-2}$ auf einer Steigung von 25‰ und entsprechenden Streckenwiderstand beträgt somit:

$$\begin{aligned} \Delta v_{\text{gesamt}} &= \Delta v_F + \Delta v_Z \\ \Delta v_{\text{gesamt}} &= 5,92 \text{ kmh}^{-1} \\ \Delta U_{v\text{gesamt}} &= 0,495 \text{ V} \end{aligned}$$

Wird dagegen ein Regelkreis mit $T = 1,9 \text{ s}$ realisiert, so wird bei der Anfahrt mit $b = 1,2 \text{ ms}^{-2}$ die Geschwindigkeitsregelabweichung ΔU_{vF} größer. Sie wird folgenden Wert annehmen:

$$\begin{aligned} \Delta U_{vF} &= \frac{U_{vsoll_0} T}{T^*} = \frac{0,36 \cdot 1,9 \text{ s}}{1 \text{ s}} \\ \Delta U_{vF} &= 0,685 \text{ V} \\ \Delta v_F &= 8,2 \text{ kmh}^{-1} \end{aligned}$$

Die maximale Geschwindigkeitsregelabweichung bei einer Anfahrt mit $b = 1,2 \text{ ms}^{-2}$ auf einer Steigung von 25‰ und entsprechendem Streckenwiderstand beträgt somit:

$$\begin{aligned} \Delta v_{\text{gesamt}} &= v_F + v_Z \\ \Delta v_{\text{gesamt}} &= 10,2 \text{ kmh}^{-1} \\ \Delta U_{v\text{gesamt}} &= 0,852 \text{ V} \end{aligned}$$

2.3.4. Berechnung der erforderlichen Motorzugkraft

Mit den für die beiden Fälle $T = 0,865 \text{ s}$ und $T = 1,9 \text{ s}$ berechneten Geschwindigkeitsregelabweichungen $\Delta U_{v\text{gesamt}}$ kann die erforderliche Motorzugkraft berechnet werden.

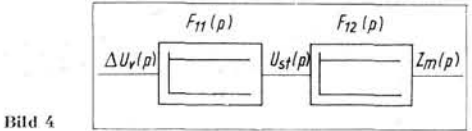


Bild 4

Aus Bild 1 folgt:

$$F_1(p) = \frac{Z_m(p)}{\Delta U_v(p)} = k_1$$

$$Z_m(p) = k_1 \Delta U_v(p)$$

Man erhält für den Fall $T = 0,865 \text{ s}$:

$$Z_m = 49,1 \cdot 10^3 \text{ kp V}^{-1} \cdot 0,495 \text{ V}$$

$$Z_m = 24,3 \cdot 10^3 \text{ kp}$$

Für den Fall $T = 1,9 \text{ s}$ erhält man auf analoge Weise:

$$Z_m = 19,1 \cdot 10^3 \text{ kp}$$

2.3.5. Berechnung der erforderlichen Verstärkung des Regelverstärkers

Die Übertragungsfunktion $F_1(p)$ im Bild 1 kann — wie im Bild 4 dargestellt — zerlegt werden.

Nimmt man an, daß sich die berechnete Zugkraft jeweils bei $U_{st} = 10 \text{ V}$ einstellt, so folgt für die erforderliche Verstärkung des Regelverstärkers:

$$F_{11}(p) = \frac{U_{st}(p)}{\Delta U_v(p)} = k_{11} \tag{18}$$

Man erhält folgende Werte für $T = 0,865 \text{ s}$:

$$\begin{aligned} k_{11} &= \frac{U_{st}}{\Delta U_{v\text{gesamt}}} = \frac{10 \text{ V}}{0,495 \text{ V}} \\ k_{11} &= 20,2 \text{ V/V} \end{aligned}$$

und

$$\begin{aligned} T &= 1,9 \text{ s} \\ k_{11} &= 11,7 \text{ V/V} \end{aligned}$$

2.3.6. Zusammenstellung der Ergebnisse

In Tafel 1 sind die für das stationäre Verhalten der Geschwindigkeitsregelung berechneten Parameter zusammengestellt. Wie erwähnt, muß k_{11} durch entsprechende Wahl der Verstärkung des Regelverstärkers realisiert werden. k_{12} ist durch entsprechende Konzipierung des Stellglieds und der Fahrmotoren (d. h. des Fahrzeugantriebs) zu realisieren.

Tafel 1

T/s	$\Delta v_F/\text{kmh}^{-1}$	$\Delta v_Z/\text{kmh}^{-1}$	$\Delta v_{\text{gesamt}}/\text{kmh}^{-1}$	$k_1/\text{kp V}^{-1}$	$k_{11}/\text{V V}^{-1}$	$k_{12}/\text{kp V}^{-1}$	Z_m/kp
0,865	5	0,92	5,92	$49,1 \cdot 10^3$	20,2	$2,4 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$
1,9	8,2	2	10,2	$22,4 \cdot 10^3$	11,7	$1,9 \cdot 10^3$	$19 \cdot 10^3$

Auf eine eingehendere Betrachtung des dynamischen Verhaltens muß innerhalb dieser Arbeit verzichtet werden. Jedoch sei bemerkt, daß statisches und dynamisches Verhalten stets im Zusammenhang zu sehen sind. Gegebenenfalls können im Hinblick auf die Wahl der Parameter Kompromisse notwendig werden, damit sowohl ein befriedigendes statisches als auch dynamisches Verhalten erzielt wird.

EbA 5397